

# 正负伴生的自电异常及找矿意义

中南矿冶学院地质系 仇 勇 海

自然电场法的许多找矿实例业已证实：金、铜、铁、铅锌等金属硫化矿体均可能产生正负伴生的自电异常。例如，璜山金矿、玉龙铜钼矿<sup>[1]</sup>、力马河铜镍矿、西迹山黄铁矿<sup>[2]</sup>、南江黄铁矿、拉祖尔斯铅锌矿<sup>[3]</sup>等。

这种正负伴生的自电异常早就引起了人们的注意。苏联 А.С.Семенов 认为正异常的产生是矿体下盘氧化所致<sup>[8]</sup>，А.Я.Давыдов 等人则把正异常的出现与矿体中部所进行的氧化过程状态相联系<sup>[3]</sup>，И.М.Уразасв 认为正异常的形成与矿体成分有关，铅锌矿可以产生正异常，而含铁的（黄铁矿、黄铜矿）只可能产生负异常<sup>[5]</sup>。上述这些假说颇难圆满地解释实践中观测到的各种正负伴生的自电异常。

勿容怀疑，在一定的地质条件下，金属矿能产生正负伴生的自电异常，然而由于受到“负心”理论的影响，正负伴生的自电异常时常成为野外实际工作中十分麻烦的问题。例如有些人在资料整理时不勾绘正异常等值线；在定性解释时对正异常避而不谈；在设计钻孔时只注意到负中心。由于忽视了自电正异常，有的人片面地认为自电异常与矿体位置发生了位移。有的矿区因正自电异常见矿，无异常也见矿（正负异常的零值点），因而轻易否定了该区自然电场法找矿的地质效果。

上述理论与实践中出现的问题，说明有必要加强正负伴生的自电异常成因的研究。本文根据电化学氧化还原电场的形成机理，进一步讨论了正负伴生的自电异常的成因，并通过模型实验与野外实例进行论证，指出在矿体分带、矿物共生组合及一定的水文地质条件下，多金属硫化矿体可以产生正负伴生的自电异常。开展该问题的研究，对以往某些自电资料重新评价以及对今后的普查找矿工作，都具有一定的现实意义。

## 成因探讨

众所周知，矿物成分不均匀或者围岩介质的 Eh 值有差异，均可产生自然电场异常。矿物的电极电位及介质的 Eh 值对自然电场的形成都有一定的贡献，只是在一定的地质条件下某种因素起主要作用而已。前者能较好地解释正负伴生的自电异常，后者在特定的水文地质条件下，也可以形成正负伴生的自电异常。

电化学氧化还原电场的观点认为，即使矿体不具备潜水面切割<sup>[6]</sup>和电性相连<sup>[7]</sup>的条件，也可以产生自电异常，而且均具有图1所示的电化学氧化还原电场模式。在测定矿物标本电极电位时，由于矿物标本不均匀，因此所测到的是该标本的混合电位。在实际地质条件下，围岩介质中含有各种氧化还原电场对，矿体表面有着各种矿物组分，因此矿物的电极电位是混合电位而不可能是平衡电位。在自然界，矿体表面形状和所含成分千差万别，但是万变不离其宗。混合电位较高处必定是阴极，混合电位较低处必定是阳极，复杂的地质情况可以用理想模式作简单定性讨论。

磁黄铁矿和铅锌矿均有较低的电极电位，黄铁矿和黄铜矿具有较高的电极电位。因此当矿体存在垂直分带，而且矿体上部以磁黄铁矿或铅锌矿为主；下部矿体以黄铁矿或黄铜矿为主；当潜水面较浅或较深时，则有可能在地表观测到正异常（见图1）。虽然矿体具有上述分带，但当潜水面切割矿体时，往往使正异常削弱，甚至观测到负的自电异常，因此不宜一概而论，即铅锌矿体上总可以观测到正异常。

对于正负伴生的自电异常，一般可用矿体的水平分带来解释。实质上是矿体的水平极化或缓倾斜极化。高电位的矿物吸附围岩中的负离子形成负心，低电位的矿物吸附围岩中的正离子形成正心。换言之，电化学氧化还原反应结果，在阴

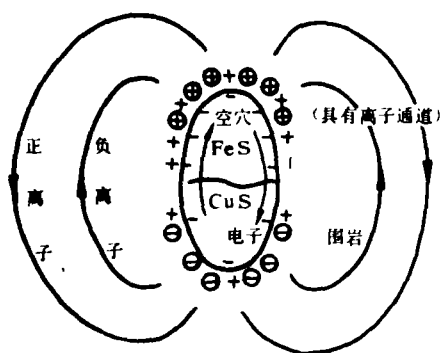


图1 电化学氧化还原电场模式

+, - 表示电极电位形成偶电层

⊕, ⊖ 表示电极反应形成离子堆积并产生电场

极表面积累负电荷,在阳极表面积累正电荷,因此地表可以观测到正负伴生的自电异常。

特别要指出的是,浸染状矿体不具备电性相连的条件,电化学氧化还原反应是形成该类矿体自电异常的主要因素。浸染状矿体矿物颗粒微电场极化矢量叠加的总极化矢量,其方向不一定垂直向上,因此产生比致密块状矿体形成正负伴生自电异常的机率要大。总极化矢量垂直向下,表现为正异常,总极化矢量呈水平或倾斜,则表现为正负伴生的自电异常。

致密块状矿体即使具有分带性,但受围岩介质的Eh值影响较大。通常矿体上部处在含氧的酸性介质中(高电位),因此经常观测到负自电异常。E·M·克维亚特柯夫斯基指出,只是在地形切割甚剧,位于陡坡的金属矿体上,有时可以测到显著的正异常<sup>[8]</sup>。A. C. Семенов对文献[6]图10正异常的解释是:当含氧的断层水或层间水流过矿体下盘,使矿体下盘处于“氧化带”,上盘处于“还原带”。照例,矿体下盘氧化带应该发育有次生硫化物富集带,但该图次生硫化物和部分氧化矿恰恰在矿体左上方,因此不能认为矿体上盘没有含氧地下水的渗流。用原生矿、次生矿、氧化矿等矿物具有分带性来解释也许是可取的。

如果确实存在含氧层间水流过致密块状矿体下盘,矿体下盘发生强烈氧化,产生正异常也是可能的。此外,对于产状比较平缓的矿体,其一端处于透水性能良好的围岩中,而另一端处于透水

性能较差的围岩中,则在透水性能差的岩体上方可能观测到正异常;部分矿体处于沼泽地段,由于沼泽的存在,妨碍氧渗入地下,沼泽环境的Eh值较低,因此位于沼泽地段的矿体上方可能观测到正自电异常,而另一部分矿体上方则可能表现为负异常。

如果把潜水面切割良导矿体作为狭义的氧化还原电场的最佳条件,那么矿体有明显的分带,而且低电极电位的矿物位于矿体上方,潜水面很浅或较深,或者部分矿体位于沼泽地段,或者是浸染状矿体,这些情况都有利于形成正负伴生的自电异常。大冶石头咀的铁铜矿以正异常为主。西迹山的黄铁矿床潜水面较浅,团结构斑岩金矿部分矿体处于沼泽地段,均具有正负伴生的自电异常特征。有时正负伴生的自电异常是相邻矿体电场叠加所致。斑岩矿体往往产生正异常,玉龙、封山洞等矿区的夕卡岩、斑岩复合型矿床的自电异常就是例证。

## 电场特征

在一般情况下,地面所观测到的金属矿自电异常主要是狭义氧化还原电场及电化学氧化还原电场的叠加场。

矿体的垂直分带较水平分带更为普遍,接近地表的矿体往往处于含氧丰富的酸性介质中,具有高电位,因此在多数情况下可以观测到图2(a)所示的负自电异常。当电化学氧化还原电场起主导作用时,观测到的自电异常可能如图2(b)、

(c)所示,异常的正负视矿体上下部位矿物的电极电位的高低决定。两类电场同时存在,电化学氧化还原电场占优势则如图2(d)所示;反之则如图2(f)所示。如果两类电场作用相当,则可能在矿体上方观测不到能够分辨的异常,如图2(e)所示。因此在特殊地质环境中的矿体上,观测不到自电异常是完全可能的。

当矿体具有明显的水平分带时,其电场模式如图3(a, b)所示。如果垂直分带和水平分带同时存在,则可能表现为倾斜极化,如图3(c ~ f)所示。在更复杂的地质情况下,在地质体的倾向与极化体极化轴之间还可能呈一定的夹角。

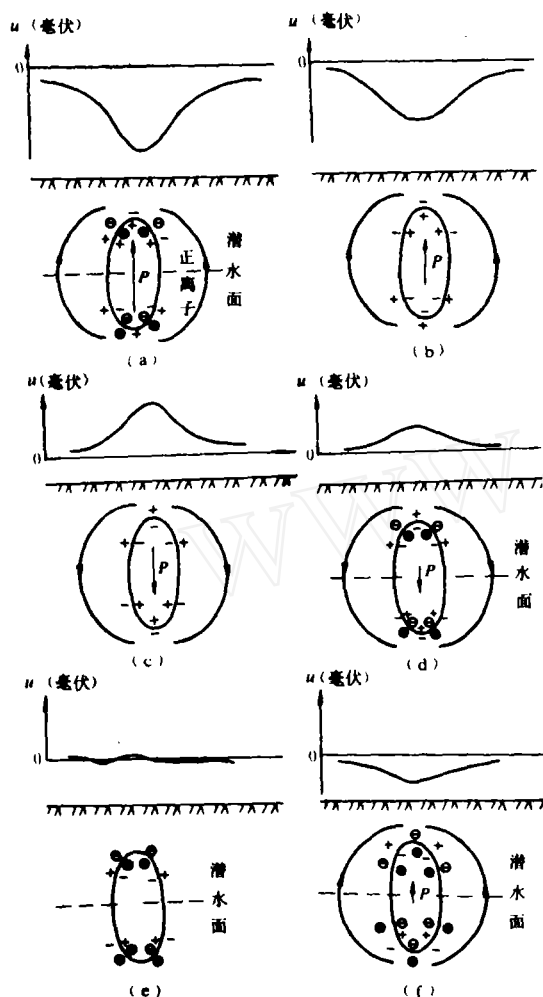


图2 垂直极化电场模式示意图

+、- 表示电化学氧化还原电场偶电层

⊕、⊙ 表示狭义氧化还原电场偶电层

正负伴生自电异常特征，在异常的定性解释中对于确定极化体的倾向具有一定参考意义。

### 模型实验

实验观测记录装置同文献 [7]。

红透山含铜磁黄铁矿天然标本实验曲线如图4所示。以磁黄铁矿为主含有黄铜矿时可观测到正自电异常，反之可以观测到负自电异常。铜绿山矿天然标本测井模型实验，证实了黄铜矿为主时能观测到负异常，而斑铜矿为主时所测为正异常。实验结果表明，上述理论分析混合电位较高者产生负异常是符合实际情况的，用混合电位表

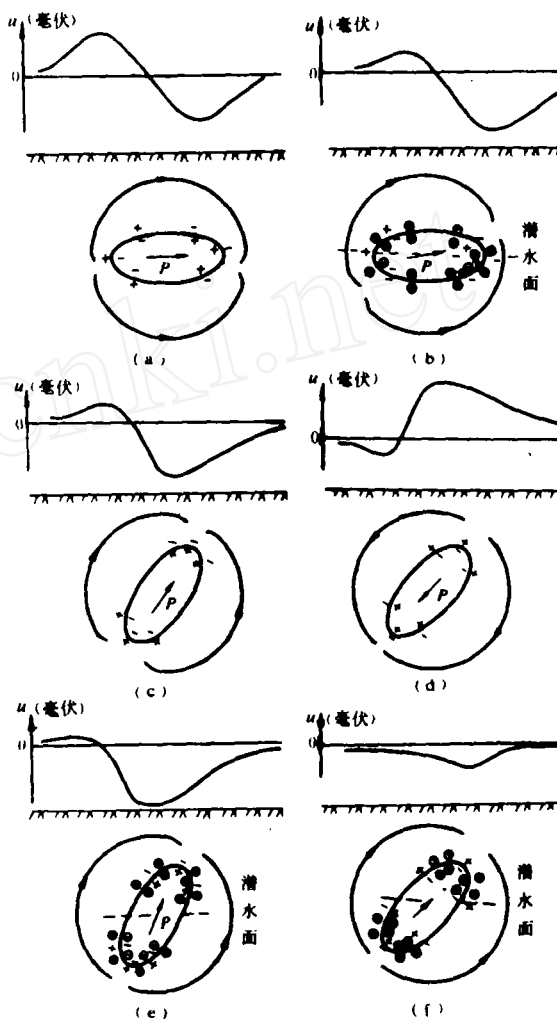


图3 水平极化、倾斜极化电场模式示意图

(图例同图2)

示矿体分带模式是可行的。

将含铜磁黄铁矿破碎成粒径小于3毫米的矿砂，与水泥及河砂混合，加工制成人工球体模型，其实测曲线如图5所示。球体上下倒转180°时，异常符号反向，如图5(a, b)所示。图5(c, d)表示水平极化情况，图5(c)曲线与(d)曲线观测剖面的方位相差90°，剖面曲线形态与观测方位有关。图5(d)的0号线在矿体上方无明显异常，表明剖面线与极化轴的中垂线即零电位线正好重合，所以必须注意到正异常，宜根据整个平剖图的电场特征来研究地质体的赋存状态。

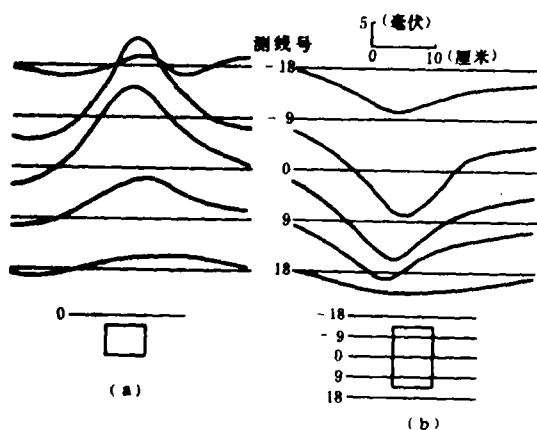


图4 810号天然标本实测自电平剖图

标本尺寸:  $24 \times 18 \times 12$  厘米; 顶部埋深 5 厘米; 线距 9 厘米; (a) 上表面以磁黄铁矿为主; (b) 上表面以黄铜矿为主

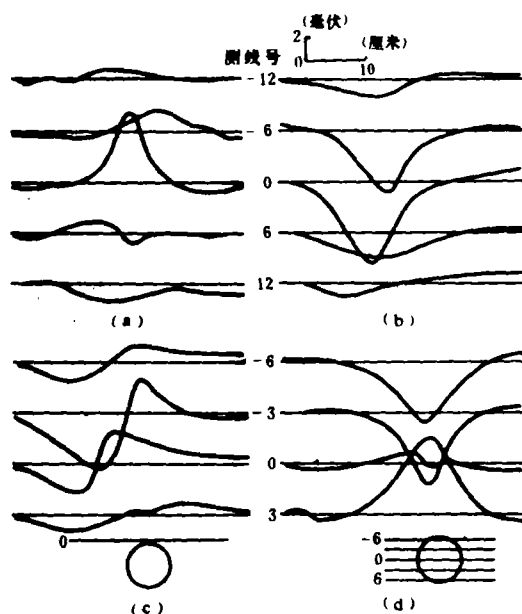


图5 813号人工球体模型实测自电平剖图

标准尺寸:  $R = 8$  厘米; 顶部埋深 = 5 厘米;  
图a、b、c 线距为 6 厘米; 图d 线距为 3 厘米

### 实 例

典型的超浅成相团结构斑岩金矿体产于花岗岩斑岩的碎裂岩带中。矿石含黄铁矿、毒砂、铜、铅、锌等金属硫化矿物约15%。黄铁矿是主要含金矿物, 自然金常包裹黄铁矿晶体或贴附在黄铁

矿晶面上, 即使黄铁矿氧化为褐铁矿, 但自然金仍与褐铁矿成连生体。

团结沟金矿 1 号矿体自电平剖图如图 6 所示。该例说明: ①矿体具备矿物共生伴生、围岩蚀变分带及矿体分带等地质条件, 因而可以产生电化学氧化还原电场; ②矿石虽呈网脉状结构, 但并不能证明其电性相连, 1 号金矿体中心部位的电阻率比两侧的稍高, 该矿床有 95 条矿脉, 更不可能电性都相连。③激电异常与硫化矿物总金

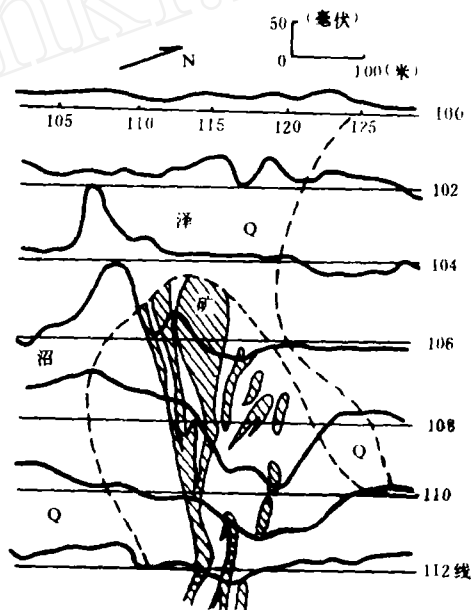


图6 团结沟金矿 1 号矿体自电平剖图

Q—第四系浮土 (据黑龙江平山物探队普查资料整理)

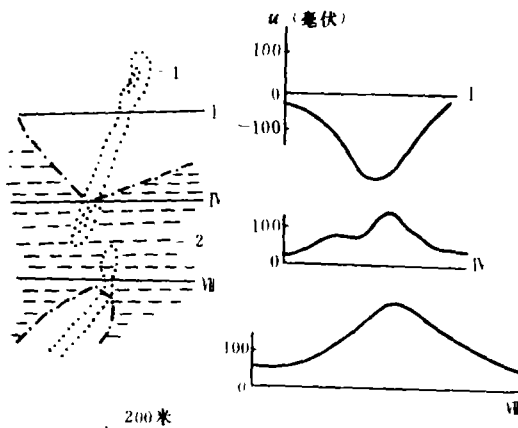


图7 沼泽地段自电异常实例

1—矿体; 2—沼泽

总含量有关，浸染状矿体自电异常的物质基础是矿物连生；高激电值片岩地段金品位不高，而自电异常则主要反映了金矿体的膨胀地段。

A. C. Семенов曾介绍过类似的实例<sup>[9]</sup>。图7,引自文献<sup>[9]</sup>。在沼泽地段的IV、VI剖面线上为较强的正异常；如果剖面线方位改变90°，则表

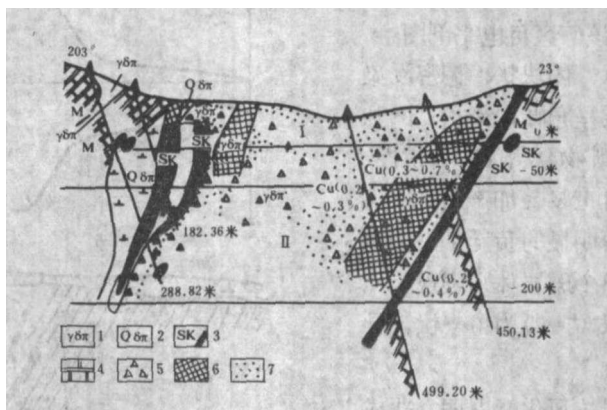


图8 封山洞矿17线地质断面示意图

1—花岗闪长斑岩；2—石英闪长斑岩；3—夕卡岩型铜矿体；  
4—大理岩；5—爆破角砾岩；6—斑岩矿体；7—浸染状矿体

(引自北京大学地质系《斑岩铜矿及其找矿》)

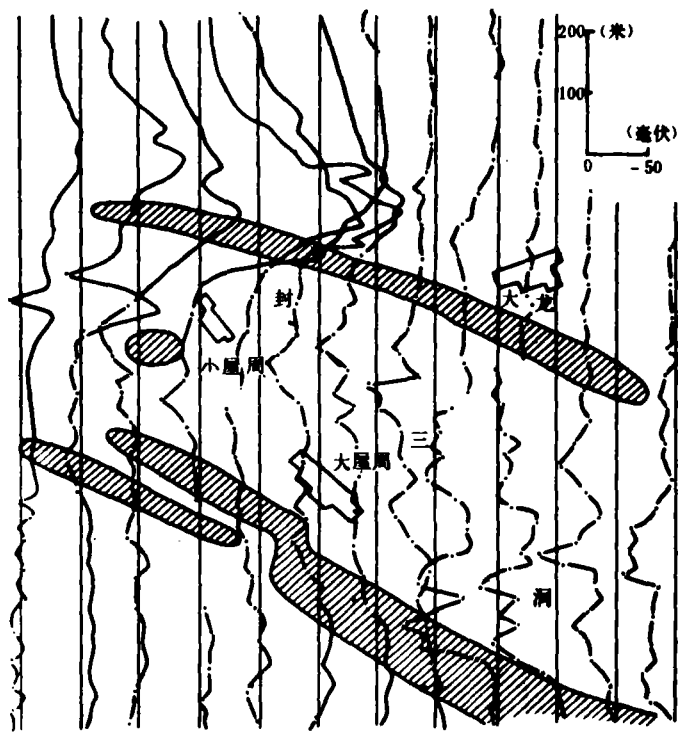


图9 封山洞铜矿自然电场平面剖面图

实线—负异常；虚线—正异常

(据中南606队普查资料整理)

现为正负伴生自电异常。沼泽地段为自然电场法禁区, 这里观测到自电异常, 正说明了电化氧化还原电场具有一定实践意义。

夕卡岩、斑岩复合型封山洞铜钼矿较新的地质断面如图8所示, 图9系该矿区自电平剖图。夕卡岩体中矿石主要呈瘤状、团块状、稠密浸染状构造, 而斑岩体中则主要呈角砾浸染状、网脉状及细脉浸染状构造。金属矿物有明显的分带性, 黄铜矿、黄铁矿紧密共生且重复叠加产出。

岩体北缘夕卡岩矿带有明显的负异常, 南缘夕卡岩矿带负异常微弱, 整个斑岩体则表现为一片正异常, 极大值为60毫伏, 一般为40毫伏, 异常长达1500米, 宽约700米。

此例说明: ①花岗斑岩抗风化能力弱, 造成了封山洞盆地地形, 低阻覆盖是造成本区正异常值低的主要原因; ②矿体分布不均匀, 矿体品位局部变化较大, 埋深不一, 使异常呈锯齿状; ③地形起伏较大的110普查线没有引起纯地形自电异常; ④自电正异常较之激电异常更早提供了封山洞斑岩铜钼矿的物理信息。

图10是前人进行自电法野外试验时的资料<sup>[10]</sup>, 根据地面自电异常, 揭露出人工埋设的长50余米, 宽5厘米, 厚6厘米, 埋深1.5米的铁条。该例说明, 铁条比金属矿体“均匀”, 并不具备潜水面切割的条件, 然而也可以观测到正负伴生的自电异常。

大量的找矿实例证实, 金属硫化矿自然电场在相当长的时间内是稳定的, 然而也有不少相反情况值得重视。向山硫铁矿1941年日本人观测时地面异常只有-100毫伏, 解放后我国地质工作

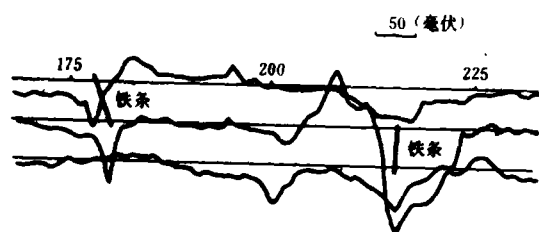


图10 野外试验实例

(引自文献[10])

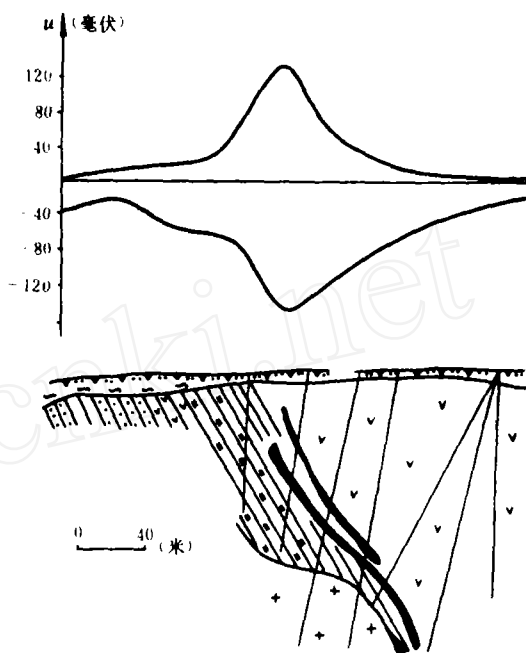


图11 拉祖尔斯基铅锌矿变化的自电异常

(引自文献[3])

者观测时达-300毫伏, 原因在于矿床开采地下水位下降。图11是苏联拉祖尔斯基铅锌矿体上的自电异常变化实例, 地下水位变化使围岩介质中离子活度、pH值、氧的浓差均发生显著变化。自电正异常显然是矿异常。

## 结束语

自然电场法适用于大面积普查找矿, 由于区域性自然电场存在, 往往使局部矿异常为大片区域性负异常所掩盖, 大厂矿区南部正常背景值已达-800~-1000毫伏。因此要注意自电异常背景值的选择, 注意局部异常的形态。如果只根据负心布置钻孔, 很可能达不到理想的地质效果。

许多老矿山面临储量不足问题, 矿床的开采, 很难进一步开展物化探工作, 但是在五十年代到六十年代初期, 磁法、自电、化探曾誉为物化探三件宝, 进行过大量普查扫面工作。因此对以往物化探资料重新认识和评价, 也许是有益的。今后普查勘探中发现的自电正负伴生异常, 宜投入综合物化探方法进行详查, 密切结合地质, 加强异

常的分析研究和验证,可望取得良好的地质效果。

本文承程方道、毛祖跃审阅指导;有关物探队提供了野外资料;汪国武等进行了模型实验工作;在此表示感谢。

#### 参考文献

- [1] 地质科学研究所物探所,地理物理地球化学探测法找铜、多金属矿经验选编,地质出版社,1976
- [2] 地质科学研究所物探所,地面电磁法实例,地质出版社,1975
- [3] А. Я. Давыдов, Советская Геология, 1961, No 7, с.142

[4] 自然电场法电法勘探(傅良魁等译),地质出版社,1958

[5] И. М. уртаев, Известия АН СССР, Серия Геофизическая, 1956, No 9, с.1054

[6] 仇勇海,地质与勘探,1981,第8期

[7] 仇勇海等,地质与勘探,1983,第7期

[8] Е. М. 克维亚特柯夫斯基,电法勘探(中译本·上册),地质出版社,1959

[9] А. С. Семенов, Электроразведка Методом Естественного Электрического поля, Изд. Недра, 1974, с.239

[10] 东北地质勘探公司普查队,地质与勘探,1966,第7期

## 无线电波吸收法在印度梅纳拉姆铜矿的应用

本文介绍如何根据电磁波的吸收原理,利用频率为1兆赫的无线电波,在梅纳拉姆铜矿坑道里探寻导电矿体,并对仪器作了描述。

### 方 法

方法的依据是对屏蔽系数 $\epsilon$ 或对高频视吸收系数 $b_a$ 的估计。 $\epsilon$ 的定义是:

$$\epsilon = \frac{H_0 e^{-b_a r}}{H} \cdot A = \frac{\text{正常场}}{\text{实测场}} \quad (1)$$

式中 $H_0$ 是发射机—接收机间距 $r$ 为0时测得的场强, $b_0$ 是波数的虚部,也就是围岩的吸收系数

[注], $A$ 是由装置的几何关系决定的一个系数, $H$ 是在某一测点上测得的场强。 $b_a$ 的定义为:

$$b_a = \frac{-\ln \frac{H \cdot r}{A} + \ln H_0}{r} \quad (2)$$

$\epsilon$ 和 $b_a$ 这两个量表征在高频电磁波传播途中所受介质电导率的影响。这种方法能够成功地用在两个钻孔之间,两条坑道之间或者是钻孔与坑道之间,确定导电矿体的位置。还可以在采矿或钻探作业中圈定无矿带,在详勘或开拓阶段指导下一步工作。卡斯帕和皮坎在1975年采用一种类似的比值探测被充填了的喀斯特洞穴。彼得洛夫斯基等人(1968年)和塔尔霍夫等人(1973年)

曾报道过,利用地下无线电波法勘探解决了某些

地质问题。因为导电物体会吸收电磁波能量。使观察的场强减弱,在电磁波传播途中如有导电性很好的物体存在,将测得较高的屏蔽系数值。

### 仪 器

发射机是一台晶体控制的振荡器(振荡频率1兆赫),其输出送入推动级,输出级是一个推挽式B类放大器,能在50欧姆的负载上发出3瓦射频功率,由带稳压器的18伏电池组供给。

接收机是根据超外差式收音机原理设计的。用一单块集成电路板BEL700,由两级中放和一级低放组成。并联调谐的磁性天线拾取的频率1兆赫的信号馈入混频放大器,与1455千赫的本机振荡信号混合。混频级的输出信号(中频455千赫)通过两级中放,放大后的中频信号经过检波、滤波再送入高精度的直流放大器(运算放大器LM301)。最后,经过检波的直流信号又送到经过校正的高灵敏度微安表(0~100 $\mu$ A)给出读数。发射机有一个5米长的水平发射天线。沿坑道用这种装置在每个观测点上进行测量。测量时调整接收线圈的方向以便测得最大的场强信号。

### 梅 纳 拉 姆 铜 矿

在这个矿区,安得拉邦矿业公司已开始开拓采矿。在35米、70米和110米三个深度开了三条上下平行的中段(坑道)。中段内每隔20米间隔开